

AValiação de Desempenho das Elevatórias de Água Bruta do Torto e Santa Maria

Thiago Fernandes Oliveira⁽¹⁾

Graduação em Engenharia Mecânica (2006), mestrado em Ciências Mecânicas pela Universidade de Brasília (2011) com ênfase em geração de energia e desenvolvimento sustentável. Professor Assistente da Universidade de Brasília - Engenharia Automotiva. (2013 a 2015). Gerência de macromedição e pitometria da Caesb. (2015 a 2022). Coordenadoria de tecnologia de micromedição da Caesb (Desde 2022).

Diogo Valadão de Brito Gebrim⁽²⁾

Engenheiro Civil formado pela Universidade Federal de Goiás – UFG em 2003. Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília – UnB em 2013. Empregado efetivo da Caesb desde 2006. Atuou nas áreas de planejamento e controle operacional do sistema de abastecimento de água; macromedição e pitometria; e atualmente ocupa a função de Superintendente de Produção de Água da Companhia Ambiental do Distrito Federal – Caesb.

Endereço⁽¹⁾: SQNW 103 Bloco J – Apt. 403 - Noroeste - Brasília - DF - CEP: 70683-300 - Brasil - Tel: +55 (61) 98115-1206 - e-mail: thiagooliveira@caesb.df.gov.br

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade a análise dos equipamentos de bombeamento em operação nas elevatórias de água bruta do Torto e de Santa Maria com foco no seu desempenho energético.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, elevatória de água.

INTRODUÇÃO

As elevatórias de água bruta do Torto e de Santa Maria entraram em operação em 1959 e 1979 respectivamente, compõem a segunda maior instalação de bombeamento de água operada pela Caesb. As elevatórias recalcam água bruta até a ETA Brasília, que por sua vez abastece a região central de Brasília e localidades como Paranoá, Itapoã, Lago Sul e Jardim Botânico.

Com uma vazão média de bombeamento próxima a 2.000 l/s e altura manométrica variável entre 100 e 160 metros de coluna d'água, a unidade consumiu em 2022 aproximadamente 29.000 MW.h ao custo aproximado de R\$ 18.000.000,00.

Diante da relevância da unidade, tanto em termos abastecimento quanto em termos de custos operacionais, compreende-se a importância de monitorar o seu funcionamento, buscando a eficiência do processo de bombeamento e garantindo o atendimento das demandas de abastecimento de água da população.

Ao total, as elevatórias do Torto e de Santa Maria possuem sete conjuntos de bombeamento, sendo quatro instalados na elevatória do Torto e três em Santa Maria. Cada um desses conjuntos é formado por duas bombas associadas em série e que são movidas por um mesmo eixo acoplado a um único motor. A água é então bombeada por duas adutoras DN 1000 em paralelo interligadas com destino à ETA Brasília com 9.000 metros de comprimento cada.

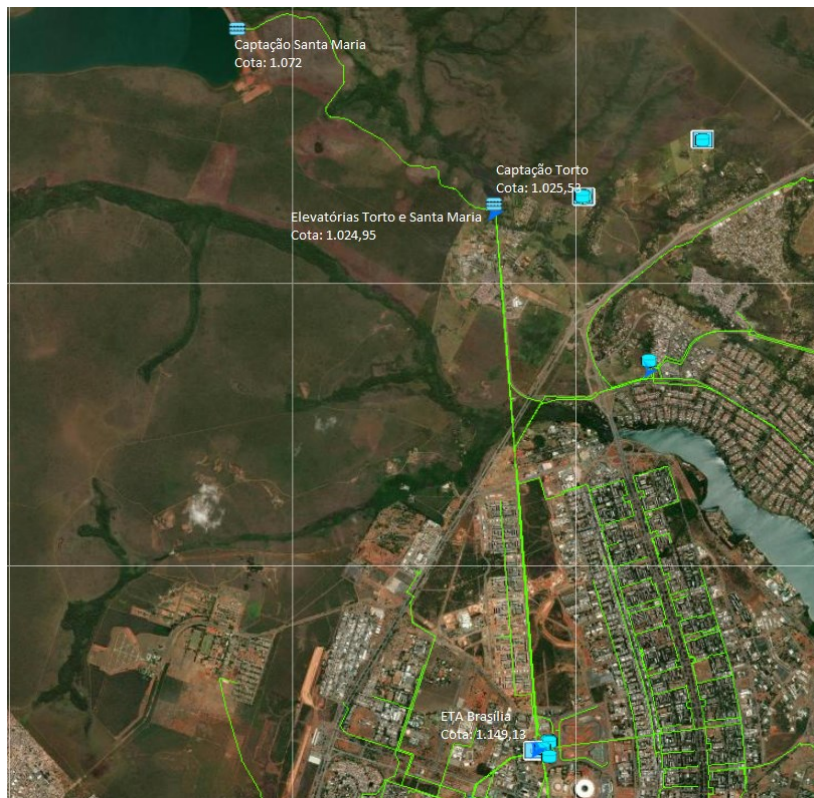


Figura 1 - Sistema das elevatórias do Torto e Santa Maria

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho operacional dos conjuntos motobomba das elevatórias de água bruta do Torto e de Santa Maria de forma a identificar possíveis problemas de funcionamento ou dimensionamento que poderão subsidiar ações de melhoria junto às equipes de operação e manutenção.

METODOLOGIA UTILIZADA

Uma proposta de abordagem para análises de eficiência energética em sistemas de bombeamento já instalados é descrita a seguir:

1. Primeiramente avalia-se as condições do sistema de adução:
 - a. Sucção
 - i. Captação
 - ii. Adutora
 - iii. Barrilete
 - iv. Válvulas
 - b. Recalque
 - i. Válvulas de retenção
 - ii. Válvulas de bloqueio
 - iii. Barrilete
 - iv. Adutora
 - c. Dimensão dos reservatórios

A avaliação do sistema de adução deve compreender os tipos e condições dos equipamentos (válvulas, ventosas, juntas, etc), o material, a idade, o diâmetro e o nível de rugosidade das adutoras. Isso deve ser avaliado antes de qualquer intervenção no sistema tais quais, alterações nos conjuntos motobomba, mudança de padrões operacionais ou contrato tarifário. O principal objetivo dessa verificação é garantir que não há situações pontuais que possam interferir na avaliação dos conjuntos motobomba.

2. Avaliação do conjunto motobomba existente.
 - a. Realiza-se ensaio para levantamento da curva real da bomba e do sistema de adução
 - i. Avaliação do atendimento da vazão demandada
 - ii. Compara-se o rendimento real do conjunto com a previsão do fabricante
 - iii. Avaliação das condições operacionais com todas as combinações possíveis de conjuntos motobomba.

Apenas após os ensaios de desempenho do conjunto motobomba e definido o sistema de adução, pode-se fazer proposições de melhorias nos equipamentos como alterações de rotor, instalação de inversores de frequência ou até a substituição de motores e/ou bombas.

O ensaio de curva de bomba permite a avaliação das condições operacionais da adutora descrito no primeiro passo através do levantamento da curva do sistema.

3. Definição do padrão operacional
 - a. Horários de funcionamento
 - b. Vazões de funcionamento para cada dia, hora e período do ano.
4. Escolha do contrato tarifário
 - a. Definir a tarifa horo-sazonal mais vantajosa
 - b. Definir o contrato de demanda

O estudo realizado nas elevatórias do Torto e Santa Maria compreendeu, primeiramente, em ensaios de curva de bomba realizados entre abril e maio de 2015 em cada um dos conjuntos motobomba. Todos os ensaios foram realizados conforme determinações da norma NBR 6400/1989 – Bombas hidráulicas de fluxo (Classe C) – Ensaios de Desempenho e Cavitação. Para tanto, foram necessárias medições de grandezas elétricas, hidráulicas e mecânicas, tais como:

- Pressão de sucção;
- Pressão de recalque;
- Pressão no barrilete de recalque, após válvula de manobra;
- Nível do poço de sucção;
- Rotação da bomba;
- Vazão bombeada;
- Tensão elétrica por fase;
- Corrente por fase;
- Fator de potência por fase.

Para as medições de pressão foram utilizados manômetros tipo Bourdon calibrados na oficina de pitometria da Caesb. Para medição de rotação, foi utilizado um tacômetro ótico. Para medição de vazão, foram utilizados os macromedidores ultrassônicos de inserção modelo SONOKIT FUS-060 da marca SIEMENS instalados em ambas as adutoras na chegada de água bruta da ETA Brasília.

No caso do monitoramento da vazão, as adutoras de água bruta foram isoladas entre si, de forma que se pudesse garantir que toda a vazão bombeada por cada equipamento testado fosse medida em um único medidor de vazão. Essa condição garante uma maior velocidade de fluxo no ponto de medição e melhora a precisão do equipamento, principalmente nas condições de teste onde as vazões são mais baixas do que as vazões de operação nominais, pois há somente um equipamento em funcionamento.

Para a medição de grandezas elétricas foi utilizado o próprio quadro elétrico do conjunto motobomba que comanda e monitora o funcionamento do motor que dispõe de sistema de registro das grandezas elétricas para cada motor.

Devido à característica dos equipamentos analisados, que são compostos por duas bombas em série acopladas a um mesmo motor, foi necessário um número maior de medições de pressão. Assim, para que fosse possível analisar as características de cada uma das bombas de um mesmo conjunto, convencionou-se denominar com a letra “A” a bomba que compõe o primeiro estágio; e pela letra “B” a que compõe segundo estágio. Os pontos de pressão monitorados nos testes foram os seguintes:

- Pressão na entrada da bomba A;
- Pressão na saída da bomba A;
- Pressão na entrada da bomba B;
- Pressão na saída da bomba B;
- Pressão no barrilete de recalque, após a válvula de manobra.

Conforme definido pela NBR 6400/1989, deve-se variar a altura manométrica total de uma bomba para determinar a sua curva característica. Portanto, durante os testes foram manobradas as válvulas de recalque de cada conjunto de bombeamento com o objetivo de atingir os valores de 100%, 75%, 50%, 25% e 0% (shut-off) da vazão máxima de operação. Assim, com os valores de pressão e vazão obtidos em cada ponto pôde-se determinar a curva característica do conjunto de bombeamento e a curva do sistema hidráulico.

De posse das grandezas hidráulicas, mecânicas e elétricas em cada ponto de operação, e estimando o rendimento do motor elétrico através de dados de plaqueta, foi possível obter também as seguintes informações:

- Eficiência da bomba;
- Eficiência global do conjunto;
- Potência elétrica demandada;
- Potência de eixo;
- Potência hidráulica.

Para avaliar as condições de funcionamento de cada bomba, optou-se por comparar os dados obtidos em campo com os valores de referência divulgados pelo fabricante dos equipamentos. A norma NBR 6400/1989 considera aceitável uma variação, entre os valores medidos e valores determinados pelos fabricantes, de 6% na altura total de elevação, de 8% para vazão e de 8% para a potência de eixo. Assim, os valores determinados pelos fabricantes serviram de referência para a análise das condições operacionais dos equipamentos, considerando-se nesses casos as variações admitidas em norma.

Como as bombas trabalham em série e são acionadas por um único eixo e motor, não é possível medir a potência de eixo requerida por cada bomba, conseqüentemente não é possível medir a eficiência de cada bomba separadamente. Contudo, é possível medir a potência hidráulica produzida por cada bomba. Então assume-se que as duas bombas de um mesmo conjunto possuem a mesma eficiência, a qual foi medida no teste de cada conjunto, e, portanto, a potência de eixo requerida será proporcional à potência hidráulica produzida por cada bomba. Esta consideração não altera a avaliação do rendimento global do conjunto, uma vez que o rendimento global é dado pela razão entre a potência hidráulica total produzida pela potência elétrica ativa consumida. Por conseguinte, compara-se os valores de eficiência de cada bomba com o previsto pelo fabricante em cada situação de funcionamento.

São vários os motivos que podem fazer com que o conjunto não funcione de acordo com o previsto pelo fabricante. Dentre os quais:

- Problemas no rotor
 - Furos, pás quebradas e/ou desgastadas, desbalanceamento e rugosidades elevadas.
- Problemas no eixo
 - Desalinhamento e/ou desbalanceamento.
- Problemas no acoplamento e mancais
 - Falta de lubrificação, rolamentos gastos ou quebrados, sede do mancal desgastada.
- Desgaste excessivo nos anéis
- Desgaste
- Problemas na gaxeta ou selo mecânico
- Problemas no isolamento do motor elétrico
- Rotor do motor desbalanceado
- Aumento de impedância nos cabos elétricos
- Conexões elétricas folgadas
- Cavitação

É importante ressaltar que as condições do sistema como: tubulações antigas; rugosidade elevada; problemas em válvulas e registros; entupimentos e vazamentos, ou; problemas no dimensionamento dos conjuntos motobomba causados por falhas na determinação da curva do sistema; podem afastar a eficiência da bomba do seu ponto ótimo de funcionamento (*BEP – Best Efficient Point*). Contudo, essa condição não significa que há necessariamente algum problema de funcionamento da bomba. Ou seja, a bomba pode estar funcionando perfeitamente como o previsto pelo fabricante, contudo fora das suas condições ótimas de eficiência.

RESULTADOS OBTIDOS

Primeiramente foi verificado se as correntes consumidas pelos motores estavam compatíveis com as correntes nominais, como pode ser observado na Tabela 1 abaixo.

Parâmetros	EAB.TOR.001						EAB.SMR.001			
	CMB-01	CMB-03	Nominal	CMB-02	CMB-04	Nominal	CMB-01	CMB-02	CMB-03	Nominal
Potência de eixo (kW)	1.231,58	1.305,50	1.305,50	1.196,51	1.279,22	1.310,00	1.084,81	1.049,51	1.221,71	1.327,88
Corrente (A)	373,00	389,00	392,00	348,00	393,00	395,00	320,00	306,00	358,00	399,00

Tabela 1 - Comparação entre a demanda atual de corrente com a corrente nominal

Os CMB's 01 e 02 da EAB.TOR.001 operam com bombas da marca Allis-Chalmers. Essas bombas são muito antigas e não foram encontradas as suas curvas de funcionamento. As únicas informações disponíveis foram obtidas nas plaquetas de identificação, porém essas informações se apresentam de forma incompleta e pouco confiáveis.

As demais bombas são da marca Worthington modelo 12LN-26. As tabelas a seguir comparam o desempenho atual dos CMB's instalados com a previsão do fabricante.

EAB Torto									
CMB/ Fabricante	01 (A+B)	02 (A+B)	Fabricante	03 (A)	03 (B)	04 (A)	04 (B)	Fabricante	Fabricante (BEP)
Marca/ Modelo	Allis Chalmers / 213-909-507 / 18x16 / SF	Allis Chalmers / 213-909-507 / 18x16 / SF	Allis Chalmers / 213-909-507 / 18x16 / SF	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26
Diâmetro do rotor (mm)	612,77	612,77	-	679,45	679,45	679,45	679,45	679,45	679,45
Vazão (l/s)	726,10	655,80	-	730,10	730,10	708,63	708,63	759,37	597,58
AMT (mca)	141,36	140,27	-	75,58	67,58	71,64	73,04	72,25	90,20
Potência hidráulica (kW)	1.005,11	900,79	-	540,35	483,16	497,12	506,84	537,26	527,83
Potência ativa (kW)	1.281,55	1.245,20	-	732,40	654,88	668,71	681,78	674,56	595,84
Potência de eixo (kW)	1.231,57	1.196,64	-	703,84	629,34	642,63	655,19	648,25 / 1.296,50	572,60
Potência nominal do motor (kW)	1.305,50	1.310,00	-	1.310,00		1.310,00		-	-
Rendimento do motor (%)	96,10%	96,10%	-	96,10%	96,10%	96,10%	96,10%	96,10%	96,10%
Rendimento da bomba (%)	81,61%	75,11%	-	76,60%	76,60%	77,19%	77,19%	82,88%	92,18%
Rendimento global (%)	78,26%	72,18%	-	73,62%		74,18%		79,47%	88,59%

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de curva de bomba e dados do fabricante para a EAB Torto



CMB/ Fabricante	01 (A)	01 (B)	02 (A)	02 (B)	03 (A)	03 (B)	Fabricante	Fabricante (BEP)
Marca/ Modelo	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26	Worthington / 12-LN-26
Diâmetro do rotor (mm)	650,87	650,87	650,87	650,87	650,87	650,87	650,87	650,87
Vazão (l/s)	702,15	702,15	681,25	681,25	784,55	784,55	747,96	560,13
AMT (mca)	48,41	52,77	48,75	51,35	56,48	60,51	58,30	80,80
Potência hidráulica (kW)	332,85	362,83	325,22	342,56	433,92	464,88	427,01	443,19
Potência ativa (kW)	553,27	603,09	549,31	578,61	739,12	791,86	650,53	552,75
Potência de eixo (kW)	531,69	579,57	527,89	556,04	710,29	760,98	625,16	531,19
Potência nominal do motor (kW)	1.327,88		1.327,88		1.327,88		-	-
Rendimento do motor (%)	96,10%	96,10%	96,10%	96,10%	96,10%	96,10%	96,10%	96,10%
Rendimento da bomba (%)	62,60%	62,60%	61,61%	61,61%	61,09%	61,09%	68,30%	83,43%
Rendimento global (%)	60,16%		59,20%		58,71%		65,64%	80,18%

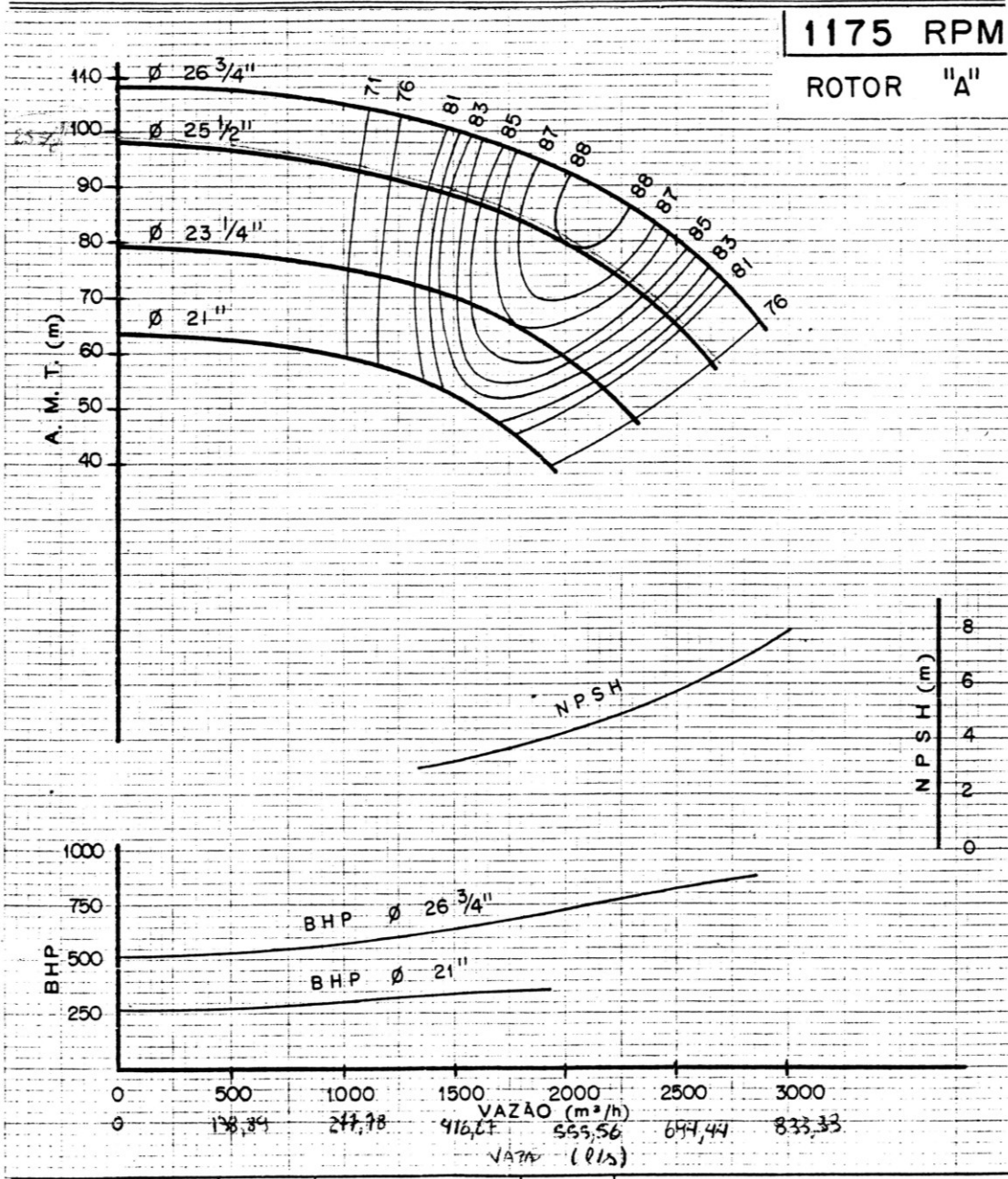
Tabela 3 - Resultados dos ensaios de curva de bomba e dados do fabricante para a EAB Santa Maria



CURVA DE PERFORMANCE

1175 RPM

ROTOR "A"



Sucção \varnothing 18" in. 457 mm. Descarga \varnothing 12" in. 305 mm Diámetro Máximo de sólidos mm.

CONDIÇÕES DE SERVIÇO

CLIENTE: _____	FLUIDO: _____	DENS: _____	REND.: _____ %
SERVIÇO: _____	VAZÃO: _____ m ³ /h	VISC.: _____	BHP: _____ HP
ITEM: _____	AMT: _____ m	NPSH DISP.: _____ m	NPSH REQ.: _____ m
DATA ___/___/___ POR _____			

WORTHINGTON S.A. (MAQUINAS) - DIV. BOMBAS

WORTHINGTON

Figura 2 - Curva da bomba 12LN-26

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 2 e a Figura 2 mostram que as bombas 03 e 04 da elevatória do Torto foram relativamente bem dimensionadas e estão operando com rendimento um pouco abaixo do previsto pelo fabricante. As bombas dos CMB's 01 e 02 possuem bons rendimentos, ainda mais considerando a idade das bombas, evidenciando um bom serviço de manutenção ao longo dos anos. Infelizmente não foi possível comparar os desempenhos dos CMB's 01 e 02 com a previsão do fabricante. As bombas dos CMB's 03 e 04 estão bem dimensionadas e com desempenho um pouco abaixo do previsto pelo fabricante, o que pode sugerir uma verificação de manutenção, em busca das causas desse baixo rendimento.

Importante ressaltar que a avaliação quanto ao dimensionamento de bombas com foco em eficiência energética, não deve ser realizada apenas com as informações dos ensaios de curva de bomba, com o CMB operando isoladamente no sistema. Essa situação tem como principal objetivo a comparação do desempenho da bomba real com a previsão fornecida pelo fabricante. O foco da avaliação quanto ao dimensionamento deve se basear no ponto de operação mais frequente com que o CMB opera. No caso da EAB Torto, a AMT mais frequente é igual a 150 mca correspondente a uma vazão total de 1.850 l/s fazendo com que os CMB's 01, 02, 03 e 04 possam contribuir com uma a vazão de 470 l/s, 460 l/s, 690 l/s e 670 l/s com rendimentos iguais a 67%, 65%, 80% e 78% respectivamente.

Portanto, considera-se que os CMB's 03 e 04 da EAB Torto estão bem dimensionados e operando razoavelmente conforme a previsão do fabricante. Os CMB's 01 e 02 operam com bom rendimento quando sozinhos no sistema, contudo perdem rendimento quando operam com outras bombas em paralelo.

A Tabela 3 e a Figura 2 mostram que as bombas da elevatória de Santa Maria não foram bem dimensionadas visto que os pontos de operação no ensaio de curva das bombas se apresentam fora dos limites operacionais definidos pelo fabricante. Mesmo em operação com bombas em paralelo, o ponto de operação ainda é muito afastado do *BEP*. A diferença entre as elevatórias do Torto e Santa Maria é que, nesta última, conta com uma pressão de sucção de aproximadamente 40 mca sendo que na EAB Torto a pressão de sucção é praticamente 0 mca.

As bombas dos CMB's 01 e 02 estão operando como se possuíssem um rotor de aproximadamente 610 mm e não 650,87 mm como consta em plaqueta. É bem possível que tenha ocorrido uma diminuição desses dois rotores para adequação da potência de eixo e não foi feito o devido registro da alteração.

Já a bomba do CMB 03 opera de acordo com um rotor de 650,87 mm de diâmetro, contudo isso a faz operar ainda mais à direita da curva entregando maior vazão, porém com um rendimento ainda pior do que todos os outros CMB's.

Na EAB Santa Maria, a AMT mais frequente é igual a 110 mca correspondente a uma vazão total de 1.850 l/s fazendo com que os CMB's 01, 02 e 03 contribuam com uma a vazão de 660 l/s, 640 l/s e 750 l/s com rendimentos iguais a 64%, 62% e 61% respectivamente.

Portanto, considera-se que os CMB's da EAB Santa Maria não estão bem dimensionados e é difícil avaliar se estão operando conforme a previsão do fabricante pois os pontos de operação operando com CMB's isolados, também quando operando com bombas em paralelo, ficam numa região não recomendada (fora da curva) pelo fabricante. Conclui-se que então que há necessidade de intervenções nesta elevatória.

A seguir tem-se a avaliação econômica para a adequação dos CMB's da EAB Santa Maria. Considerando a substituição dos CMB's da EAB Santa Maria pelo seguinte modelo de bomba.

Marca/Tipo/Tamanho	Sulzer/SMD 400-730 A
Diâmetro do rotor – (mm)	721,00 – 98,77% do diâmetro máximo
Vazão – (l/s)	730,00
Altura manométrica (mca)	110,00
Potência hidráulica – (kW)	786,33
Potência ativa – (kW)	950,89
Potência de eixo – (kW)	913,81
Potência nominal do motor – (kW)	1.118,55
Rendimento do motor – (%)	96,10
Rendimento da bomba (%)	86,05
Rendimento global (%)	82,69

Tabela 4 - Dados do fabricante da bomba Sulzer/SMD 400-730 A - Rotor de Φ 721 mm

Hydraulic Performance Acceptance Test: ISO 9906:2012 / HI 14.6-2011 Grade 1E

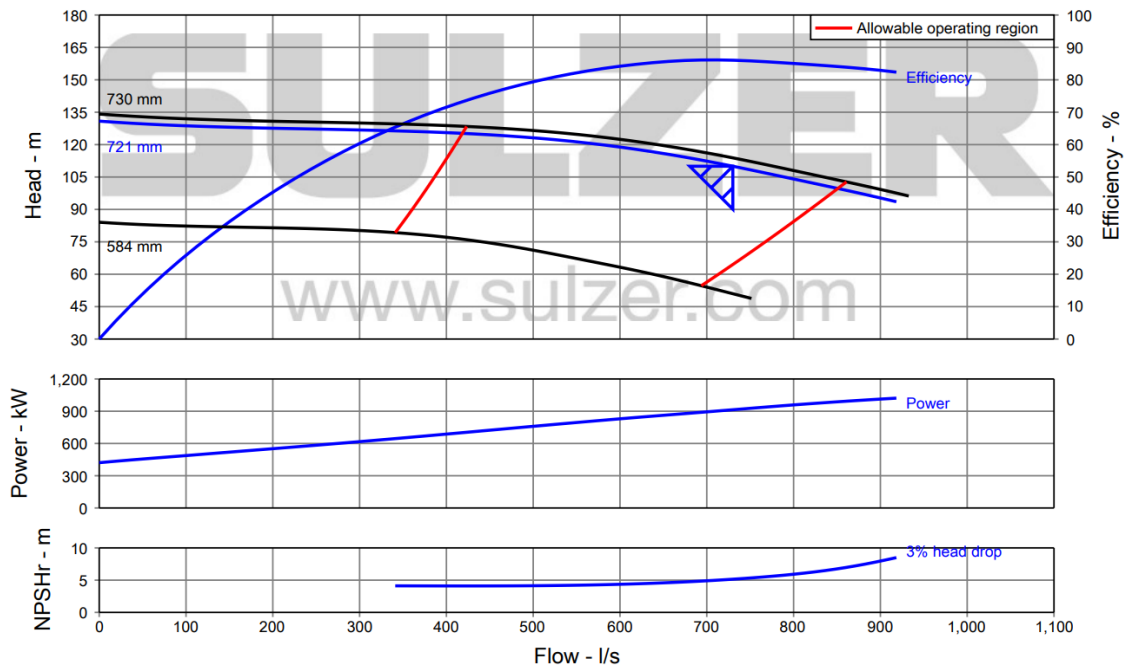


Figura 3 - Curva da bomba SMD 400-730 A – Rotor de Φ 721 mm – Grau 1E ISO 9906:2012

Marca/Modelo	Potência de Eixo (kW)	Potência Ativa (kW)	Vazão (l/s)	Eficiência (%)	kW.h/m ³
Sulzer/SMD 400-730 A	913,81	950,89	730,00	86,05	0,362

Tabela 5 - Custo do kW.h/m³ para a bomba sugerida

CMB – EAB Santa Maria	kW.h/m ³ (atual)	kW.h/m ³ (bomba sugerida)	Tarifa Fora de Ponta (R\$/kW.h)	Produção média mensal (m ³ /mês)	Economia mensal (R\$)
1	0,486	0,362	0,62994	475.200	R\$ 37.317,27
2	0,502			460.800	R\$ 40.741,84
3	0,51			459.000	R\$ 42.963,07
				Total	R\$ 121.022,18

Tabela 6 - Economia anual na EAB.SMR.001 através da troca das bombas pela bomba Sulzer SMD 400-730 A – Rotor de Φ 721 mm

A bomba sugerida substituirá as duas bombas que operam em série em cada CMB fazendo com que os conjuntos operem apenas com um motor e uma bomba.

A Tabela 6 mostra que a economia, apenas considerando os custos de energia elétrica nos horários fora de ponta, seria igual a R\$ 121.022,18 por mês se substituído os três CMB's da EAB Santa Maria por conjuntos motobomba com rendimento global da ordem de 82%.

O custo da substituição é da ordem de R\$ 8.000.000,00 fazendo com que o retorno financeiro seja de aproximadamente 5 anos e meio, apenas considerando a redução de custos de energia elétrica nos horários fora de ponta.

CONCLUSÕES

Apresentou-se um estudo de caso de avaliação e substituição de conjuntos motobomba das elevatórias de água bruta do Torto e Santa Maria no que concerne ao seu desempenho energético. Notou-se um grande potencial de economia de energia com a substituição dos três CMB's da EAB Santa Maria devido à possibilidade de operação com bombas mais adequadas às condições hidráulicas desta elevatória mantendo as atuais vazões por CMB.

O retorno financeiro é previsto para aproximadamente 5 anos e meio com a substituição dos CMB's, apenas considerando a redução de custos de energia elétrica nos horários fora de ponta. Deve-se salientar que haverá outros ganhos com a substituição como: maior segurança operacional, redução nos custos de manutenção, diminuição do contrato de demanda, dentre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PORTO, RODRIGO DE MELO. Hidráulica básica. 516p. 1998.
2. AZEVEDO NETO, M. F. Fernandez, R. Araujo, A. E. Ito. Manual de Hidráulica. São Paulo, Edigar Blucher, 1998 8ª ed. 669p.